

ELEKTRONİK ve ELEKTRO - OPTİK OLÇME İLKELERİ TRILATERASYON

Yazar : Ergun UĞUR

Yzb. Yük. Müh.

Dalga hareketleri karakterlerini, yayıldıkları ortamda, belli fizik kanunlarına bağlı olarak değiştirirler. Genel olarak bir dalmanın yayılma hızı da fizikteki "hız formülü" ile ifade edilebilir.

$$c = \frac{s}{t} \quad \text{Burada :}$$

s : Dalmanın arkada bıraktığı yol,

t : Zaman,

c : Hız kavramlarının sembolleridir.

Bu temel formülünden hareketle, jeodezik yollarla önceden tesbit edilmiş bir uzunluk üstünde, bir dalga hareketinin bu yolу gidis-dönüş katetmesi için gereken zaman süresi ölçülerek o dalgaya ait hız hesaplanabilir. Bu şekilde bulunan dalga hızı belli olduğu sürece artık formülmümüz $s=c \cdot t$ şeklinde irdeler ve yaptığımız zaman ölçüleriyle, katedilen yolu herhangi bir bilinmiyen uzunluk için tesbit edebiliriz.

Genellikle uzaklık ölçümlünde elektromanyetik dalgalar kullanılır. Elektromanyetik dalga kavramı içine ışık, ısı, ultraviole, rontgen ve gama ışınlarıyla elektrik dalgaları girdiği halde pratikte çok kısa boylu dalgalar (ultraviole, rontgen ve gama ışınları) kullanılamaz; çünkü bunlar atmosferin içinde çok kolay emilirler. Buna karşılık çok uzun dalga boylu elektrik dalgaları da demetlenme yeteneklerinin zayıflığından ötürü uzaklık ölçümlüne yeterli değildirler. Bir elektromanyetik dalmanın demetlenme yeteneği frekansıyla doğru, dalga boyuyla ters orantılıdır. Demetlenme yeteneğinin zayıflığı sonucu istenmiyen toprak üstü yansımalar, kırılmalar, bükiümler ortaya çıkar ve bunlar, ölçülerin doğruluğunu büyük çapta zedeler. Işık dalgalarına göre çok uzun dalga boylu radyo yani elektrik dalgalarıyla uzaklık ölçen aletler imal eden kurumlar, daima daha kısa dalgalarla çalışan sistemler ortaya çıkarmak çabasındadırlar. Fakat kısa elektrik dalgalarının hem yaratılması hem de yansıtıcıdan döndüklerinde alımları zor olduğundan bu yönde gelişmeler

çok yavaş ilerlemektedir. Bugünkü elektrik dalgalı ölçü aletleri ancak cm-dalgalarıyla çalışabilmektedirler. Elektriksel mm-dalgalarının kullanılabilmesi için henüz ne gönderici sistemlerin güçleri ne de alıcı sistemlerin incelikleri yeterlidir.

Frekanslarının büyüklüğüyle elektrik ve ışık dalgaları arasında bulunan infrarot ışınları aynı sebeplerden bugün uzaklık ölçümünde kullanılamamakta, fakat 0,8 mikronla 1 mm. arası dalga boylu spektrumun bu kırmızı ötesi ışınlarının bu ideal özelliklerinden yararlanmak üzere çalışılmaktadır.

Dalga boyu küçük alınınca Faz Ölçü Yöntemiyle çalışırken, iki dalga arasındaki faz farkını ölçebilmek çok zorlaşır. Bundan ötürü ölçü için seçilen ışık veya radyo dalgası "Taşıyıcı Dalga" adıyla, asıl ölçüde kullanılacak uzun boylu dalgalara temel teşkil eder. Ölçüde kullanılan dalgalar taşıyıcı dalgalar değil, bunlardan oluşturulmuş, fiziksel özelliklerinden çok geometrik özellikleri değişmiş "Modülasyon Dalgaları"dır.

Ses dalgalarından yararlanarak uzaklık ölçümede elde edilen sonuçlar şimdiden kadar jeodezinin amaçlarına uygun kesinlik vermemiştir. Ses dalgaları, elektrik dalgalarının tersine, suyun içinde özelliklerini koruyarak geniş uzaklıklara yayılabilmelelerdir. Bu yüzden ses dalgaları daha çok deniz dibinin haritalarının yapımı için elverişlidirler.

Genel olarak elektronik (= radyo dalgalarıyla çalışan) ve elektro-optik (= ışık dalgalarıyla çalışan) ölçü aletlerinin bugünkü pratikte kullanılma yerleri söyle özetlenebilir :

- 1 — Tamamlanmış büyük triangulasyon ağlarının birbirlerine bağlanmasında,
- 2 — Tamamlanmış triangulasyon ağlarının kontrolunda,
- 3 — Büsbütün yalnız kenar ölçüleriyle yeni ağların kuruluşunda (= trilaterasyon).
- 4 — Klasik triangulasyon çalışmalarının tamamlayıcısı olarak yanı triangulasyon + trilaterasyon kombinasyonu çalışmalarında.

Ülkelerin haritacılık görevlerinde kullandıkları popüler aletler, Geodimetre ve Tellurometre, biri ışık diğer ise radyo dalgalarıyla çalışıyor olmalarıyla birbirlerine göre önemli farklar gösterirler. Bu yüzden ilk önce kısaca bu iki ayrı dalga cinsinin özelliklerini tanıyalım :

Radyo dalgaları (Tellurometre'de) :

Yararları :

- 1 — Büyük uzaklıklarda kuvvetlerini korurlar,
- 2 — Yutulmaya (= absorbsiyon) karşı dayanıklıdır.

Sakıncaları :

- 1 — Denetlenmese güç yayılma yeteneğine sahiptirler,
- 2 — İletken ve yalıtkanlar üzerinde kolaylıkla yansırlar,
- 3 — Dağılma hızları meteoroloji şartlarına fazlaca bağlıdır.

Işık dalgaları (Geodimetre'de) :

Yararları :

- 1 — Dar ışın demetleri içinde yayılırlar; dağılmaları denetlenebilir,
- 2 — Işık hızı atmosfer şartlarına daha az bağlıdır.

Sakıncaları :

- 1 — Dalgaların sönme çabukluğu yüzünden ancak kısa uzaklıklarda kullanışlıdır,
- 2 — Birkaç kilometrenin üstündeki uzaklıklar için gece ölçüsü şarttır.

Tellurometre ve Geodimetre sistemlerini de içine almak üzere elektronik ve elektro-optik yöntemleri iki ayrı sistem içinde incelenebilir.

1 — İmpuls Yöntemi : (Radar, Shoran, Hiran, Loran). Bu ilkeye göre çalışan gereçlerde dalga hareketleri impuls halinde yani kuvvetli signallerle yansıtıcıya (= reflektör) ya da radarda olduğu gibi bu rolü oynuyacak herhangi bir yüzeye gönderilir. Elektromanyetik dalgaların gidiş ve dönüşleri sırasında geçen zaman doğrudan doğruya ölçüлerek yansıtıcıyla gönderici arasındaki uzaklık bulunur. Zaman ölçümünde jeodezi için gerekli inceliğe erişilemediğinden bu sistemler ancak büyük kıtta triangülasyon ağlarının birbirlerine bağlanışında ve metre - kesinliğinin yeterli olduğu görevlerde kullanılmışlardır.

2 — Faz Ölçü Yöntemi : Dalgaların, uzunluğu gidiş-dönüş katetme zamanı direkt olarak değil, gönderilen dalgayla geri dönen dalga arasında ortaya çıkan faz farkının ölçüyle saptanır. Bu yöntemle çalışan Decca gibi büyük ağları birleştirmek ve denizasası uzaklıklarını ölçmekte kullanılan desimetre - incelikteki sistemlerin ve bir sıra diğer gereçlerin

yanında yöresel haritacılık görevleri için en popüler olanlar ışık ve radyo dalgalarından yararlanarak kurulan Geodimetre ve Tellurometre sistemleridir.

Bütün bu yöntemlerde erişilebilecek ölçü kesintiği aşağıdaki şartlara bağlıdır :

- 1 — Alet hatası,
- 2 — Meteoroloji şartları,
- 3 — Yeryüzünün geometrik ve elektrik özellikleri,
- 4 — Işığın, genel deyişiyle elektromanyetik dalgaların boşluktaki hızı.

Tesadüfi alet hataları ölçülerin tekrarlanmasıyla, sistematik alet hataları da uygun ölçü yöntemleri ve aletlerin sık sık kontroluyla giderilebilir.

Meteorolojik şartlarda yani atmosferin durumunda ortaya çıkacak değişiklikler temel olarak alınan ışık hızında değişikliklere sebep olur. Işığın boşluktaki hızı c. 1957 Yılında URSI (= Union Radiotechnique Scientifique Internationale) tarafından $299\ 792,5 \pm 0,5$ km/saniye olarak kabul edilmiştir. Bu değerde mevcut olabilecek hata yalnız sistematik olarak etkisini gösterir ve ancak bir ölçek değişikliğine sebep olur. Buna karşılık ışığın veya elektronik herhangi bir dalganın havada yayılış hızı c nin değişmesi $\frac{c_o}{c} = n$ formülünde kırılma katsayısı n degerinde değişimlere yol açar. Bunun etkisi sistematik değildir; özel formüller ve tabelalar yardımıyla atmosferde yapılacak ölçülere bağlı olarak düzeltmeler getirilmesi gereklidir.

Yeryüzü yapısının ölçüler üzerindeki etkisi iki şekilde olur. Birincisi ışınları yansitan bir refleksiyon yüzeyi teşkil ederek, ikincisi elektrik yükü taşıyan bir kütle olmasına (= konduktivite) direkt elektromanyetik dalgaların hızına etki ederek.

Ölçülerde yapılabilecek hataların aranan uzunluğun doğruluğu üstüne etkilerini daha iyi anlayabilmek için matematik diferansiyel yardımıyla temel formülün irdelenmesi yapılabilir.

$$s = c \cdot t \text{ formülünde } c = \frac{c_o}{n} \text{ konulursa}$$

$$s = t \cdot \frac{c_o}{n} \text{ bulunur.}$$

t, c_o ve n değişkenlerinin s fonksiyonu üstündeki etkilerini görebilmek için, s nin parsiyel (= kısmi) türevinin alınması gereklidir :

İşte bu hata ifadesi, ölçümdeki hata miktarının ölçümdeki ortalama değerden ne kadar uzak olduğunu göstermektedir.

$$\text{Hata} = \frac{ds}{s} = \frac{d c_o}{c_o} + \frac{dt}{t} \Rightarrow \frac{ds}{s} = \frac{d c_o}{c_o} + \frac{dt}{t} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{n}$$

Yukarıda, ölçümdeki hata miktarının ölçümdeki ortalama değerinden ne kadar uzak olduğunu göstermektedir. Relatif hatayı görebilmek için her iki tarafı s' değeri ile böler ve yukarıdaki temel formüller yardımıyla birkaç aritmetik değişiklik yaparsak :

$$\frac{ds}{s} = \frac{d c_o}{c_o} + \frac{dt}{t} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{n} \quad \boxed{\text{sonucunu buluruz.}}$$

Burada :

$\frac{d c_o}{c_o}$: Isığın boşluktaki hızını tesbitte yapılan hatadır. Eldeki yöntemlerin olanakları daima en aşağı sınırlarda tutulur.

$\frac{dt}{t}$: Zaman ölçümünde, genel olarak aletin çalışma sisteminin gereği yürütülecek ölçülerde yapılacak hatadır. Gerekli alet kontrolları ve ölçü sayılarının arttırılmasıyla bu hata en küçük değerine indirilir.

$\frac{dn}{n}$: Prensip olarak genel ölçü hatası sayılabilir. Fakat kurılma katsayısı n'deki değişikliklerin uzunluğa etkisi bir sira empirik ($= deneyel$) ve teorik ($= kuramsal$) formüllere dayanıyor, için buna "teorik hata" demek daha yerinde olur.

Şimdi de bir elektromanyetik ölçü aletinde aranacak özellikler söyle sıralanabilir :

- Yüksek bir ölçü doğruluğu,
- Büyük uzunlukları ölçebilme yeteneği,
- Küçük ağırlık, kolay taşınabilme ve kurulma olağlığı,
- Sağlam yapı, kolay kullanma olağlığı, iklim etkilerine karşı az duyarlılık,
- Rasat değerlerinin okunma kolaylığı, mümkünse herhangi bir göstergeye ihtiyaç duyulmaksızın değerlerin direkt bir pencereden okunabilmesi ($= digital okuma$) ; günün her saatinde, gece veya gündüz ölçü yapabilme olağlığı,
- Fiziksel düzeltmelerin ölçü sonuçları yanında mühimkin olduğu kadar küçük olmaları,
- Bir aletin hem ölçme hem yansıtma aleti olarak kullanılabilmesi,

- Elektronik sistemin fonksiyonlarına gerekli akımı sağlamak için birlikte taşınacak elektrik kaynağının hafif ve kullanışlı olması,
- Karşılıklı görüşe ihtiyaç olmadan, kaba bir yönlendirmeyle, ölçü yapabilme olanağı.

Kullanılma maksatlarına ve uzunluk ölçülerini yürüttülecek bölgenin koşullarına bağlı olarak bugün piyasada bulunan en popüler elektromanyetik ölçü aletlerini genel karakterleriyle, aşağıdaki çizelgeden etüt edebiliriz :

ÇİZELGE (POPÜLER ELEKTROMANYETİK ÖLÇÜ ALETLERİ)

Elektronik ve elektro-optik ölçü aletleriyle yalnız uzunluk ölçülerini yürüttülebildiğine göre, şimdide kadar jeodezide alıṣlagelmiş açı ölçülerine dayanan triangülasyon yöntemine karşılık burada yeni bir yöntemle, "Trilaterasyon Sistemi"yle karşılaşmaktadır.

Trilaterasyonun yararıları :

- 1 — Kenar ölçümü açı ölçümüne göre çok daha büyük bir ~~hizla~~ ~~yürüttülebilir,~~
- 2 — Elektromanyetik aletlerle kenar ölçümünde kötü havalarda da (yağmurlu, bulutlu, iki nokta arasında iyi bir görüş olmadan) çalışılabilir,
- 3 — Kenarların ölçü hataları lokal olarak tek kenarlarda kalır, diğerlerini etkilemez.

Sakıncaları :

- 1 — Trilaterasyon çok yeni bir jeodezi yöntemidir. Klasik triangülasyon asırlardır birçok bilim adamları ve uzmanlarca geliştirilmiş ve kültür ülkelerinde geniş çapta deneme olanağı bulmuştur.
- 2 — Trilaterasyonda çok az "fazla ölçü" vardır. Bu yüzden "En Küçük Kare Yöntemi" ne göre dengeleme (= muyaçene) yeteri kadar doğru sonuç vermez. Bundan ötürü trilaterasyon ağlarında mümkün oldukça kösegenler de ölçülür. Bu da arazi ve hesap çalışmalarında zorluklar ortaya çıkarır. Kösegenler, normal kenarlardan aşağı yukarı 1,5 kere daha büyütürler; bu yüzden dengelemede vezin kullanmak gereklidir, bu da dengeleme hesabını zorlaştırır. Trilaterasyon ağlarının dengeleme hesapları yöntem olarak da triangülasyon açılarının hesaplarına göre çok daha zordurlar. Ölçülen kenarlar dengelemeye direkt ölçü büyüklük-

leri olarak giremezler; önceden bir form değişikliğine uğramaları; trigonometrik fonksiyonlar içinde ifade edilmeleri gereklidir.

3 – Elektromanyetik ölçü aletleri modern teodolitlere göre çok daha büyük ve ağırdırlar; arazi çalışmalarında taşınmaları güçtür. Aletlerin elektronik fonksiyonları sık sık bozulabilirler.

4 – Trilaterasyon yardımıyla ölçülmüş kenarlardan hesaplanan açılar hiçbir zaman triangülasyonda ölçülmüş açıların doğruluğunu vermez. Triangülasyonda hesaplanan azimutların hatasına göre kenar ölçülerini yardımıyla hesaplanan azimutlar beş kere daha büyük hatalıdır.

Bütün bu irdelemelerden trilaterasyonun, triangülasyon yönteminin yerini almakta olan bir modern sistem olmadığı ve fakat ona geniş çapta, yardımcı olduğu ortaya çıkar.

Trilaterasyonda kenar uzunlukları birkaç yüz kilometreyi bulan ve kıtaları birbirine bağlayan sıfırıncı dereceden ağlara, orta uzunlukları içinde bulunduran ve 1. den 5. dereceye kadar sınıflandırılmış ağlar, hem kullanılış yöntemleri hem de ölçü aletlerine göre ayrı ayrı irdelenmelidir.

Bütün bunların dışında modern uzaklık ölçümünün jeodezinin amaçları için kullanılması yeni düşünce ve buluşlara da yol açmıştır. Meselâ yerin yapma uydularının jeodezi amaçları için kullanılmaya başlaması, merkezi yer elipsoidinin orta noktası veya yerin ağırlık merkezi olan genel bir uzay koordinat sisteminin doğusuna yol açtı. Bu yeni sistem modern haritalılığı, üç bulutlu jeodezi kavramına götürmektedir. Uzay triangülasyonu da diyeboleceğimiz bu çalışmalar, en verimli şekilde, klasik triangülasyonla modern trilaterasyonun elele verisiyle yürütülebilmektedir.

Bilindiği gibi klasik jeodezide enlem, boylam ve yükseklik ölçüleriyle, ya da herhangi bir projeksiyonun X, Y ve Z koordinat değerleriyle çalışmaktadır. Fakat mevcut jeno-potensiyal gerçekler yüzünden yani geoidin matematik yollarla tanımlanamamasından ötürü, bütün yer yuvarlığı için ortak bir koordinat sistemi yaratılamamıştır. X ve Y koordinatları daima bir şart yüzeyi (düzlem, küre yahut bir elipsoid), üçüncü koordinat Z ise bir nivelman yüzeyi üzerindedir. Düzlem, küre yahut elipsoidin geometrik karakterine karşılık, nivelman yüzeyleri, aynı çekim potensiyaline sahip noktalarını ortaya çıkardığı yüzeyler olarak bütünüdür. fiziksel bir karakter taşırlar. Yani üç koordinat değeri için ortak bir şart bölgesi yoktur. Bunun anlamı, üç koordinat değeriley birlikte çalıştığımızza rağmen klasik jeodezinin "üç bulutlu" sayılamayacağıdır.

Yaptığımız haritalardaki koordinat değerleri ancak, bu değerlerin bütün Dünya için ortak bir "Yer Elipsoidi" üzerinde bulunabilmeleriyle, "doğru" sayılacaklardır. Yer Elipsoidi ise toplam potansiyeli Geoidin potansiyeline eşit olan ve merkezi yerin ağırlık merkeziyle, küçük ekseni yerin dönme ekseniyle çakışmış bulunan elipsoiddir. Şimdiye kadar kullanılmış - internasyonal adıyla tanınanlar da dahil - elipsoidlerden hiçbirini bu özellikleri taşımaz. Bu elipsoidin boyutlarını tam olarak hesaplayabilmek için yeryüzünde yeteri kadar ölçüün yapılmış olması gereklidir.

(Not : Temel olarak Gravimetri de fiziksel yoldan bu amaca varmak için kullanılan bir yöntemdir.) Oysa klasik jeodezide, şimdiye kadar, büyük denizler üstünde hemen hiçbir ölçü yapılamamış ve bu yüzden kıtaların birbirlerine karşı durumları bile, jeodezinin istediği incekle, bilinmemiştir.

Üç buutlu jeodezide büyük triangülasyon ağlarını kurmak, kıtaların birbirlerine bağlanmasıyla sağlanacak ve ancak buradan Yer Elipsoidi boyutlarının kesin olarak hesaplanması mümkün olacaktır.

Aslında bölgесel haritacılığı direkt ilgilendirmeyen bu Kıtalararası Triangülasyon konusu bu kadarla bırakılıp, yazının sonunda bir de çeşitli aletlerle, çeşitli kurumlarca çalışılmış bir bölgede elde edilen kanaatlara incelenebilir.

1961 ile 64 yılları arasında Avusturyanın Graz şehri yakınındaki deneme çalışmalarında aynı aq çeşitli zamanlarda ve çeşitli koşullarda tekrar tekrar ölçülmüştür. Denemeler sonunda, ölçüleri yürüten Prof. Rinner'in verdiği rapora göre, aşağıdaki kanaatlara varılmıştır :

- Piyasada bulunan aletler, kötü yollarda motorlu araçlarla taşındığında da kendilerinden normal koşullarda beklenen inceliği tekrar verebilmektedirler.
- Digital ölçü, katot ışınları lâmbasından faz farkları okumak yoluya yapılan ölçüye göre bir zaman kazancı sağlamamaktadır.
- Işık dalgalarıyla çalışan aletlerle, radyo dalgalarıyla çalışanlara göre daha yavaş ölçülebilmektedir. Civa lâmbalı Geodimetre 4-D de, normal hava şartlarında, ölçü zamanının üçte bir, kadar artacağı hesaplanmalıdır.
- Normal projeksiyon lâmbalı Geodimetre 4-E ile, maksimum, gündüz 0,7 Km. gece 13 Km.lik uzunlıklar ölçülebilmiştir. Bu uzunlıklar ayrıca, gerekli şartların sağlanması için uzun süre beklemeyi gerektirmektedir. Civa lâmbalı Geodimetre 4-D, güneşli havada öğleyin 4 Km. ye, gece kolayca 18 Km. ye kadar ölçübilmektedir.

— Dağlık bölgede, meteoroloji değerleri için, kenarın her iki ucunda yapılmış işi ve basınç ölçülerinin ortalamasını almak yeni yanlışların ortayamasına yol açmaktadır. Dağ-vadi hatlarında bundan ötürü doğan hata, ışık veya radyo dalgalarında, 20 Km. ye kadar uzunluklar için Km. başına birkaç milimetreyi bulmaktadır.

— Ölçü zamanı uygun seçilirse daha uygun meteorolojik değer ortalamaları ve bu sayede de daha doğru ölçü sonuçları elde edilmektedir.

Yeryüzü yansımalarının etkisi yalnız bir 10 cm. dalga boylu alette güçlüklerle yol açmıştır; diğer 10 cm. ve 3 cm. dalga boylu aletlerde bu güçlükle karşılaşmamıştır.

BAŞVURULAN KAYNAKLAR :

- ÖZGEN, M. Gündoğdu : Über die elektronische und elektro-optische Streckenmessung
- GIGAS, Ervin : Physikalisch-Geodaetische Messverfahren
- PENEW, Ewlogi : Neue Tendenzen und Hinweise in der Triangulierung,
- RINNER, Karl : Entfernungsmessungen mit lichtelektrischen und elektrischen Geräten im Testnetz Graz
- RINNER, Karl : J.E.K. Handbuch der Vermessungskunde Band IV.

